

전류모드 적분기를 이용한 듀얼 모드 기저대역 필터 설계

論 文
57P-3-9

Design of a Dual Mode Baseband Filter Using the Current-Mode Integrator

金炳旭* · 方駿鎬[†] · 趙成翊** · 崔碩佑** · 金東龍**

(Byoung-Wook Kim · Jun-Ho Bang · Seong-Ik Cho · Seok-Woo Choi · Dong-Yong Kim)

Abstract - In this paper, a dual mode baseband analog channel selection filter is described which is designed for the Bluetooth and WCDMA wireless communications. Using the presented current-mode integrator, a dual mode channel selection filter is designed. To verify the current-mode integrator circuit, Hspice simulation using 1.8V Hynix 0.18 μ m standard CMOS technology was performed and achieved 50.0~54.3dB gain, 2.29~10.3MHz unity gain frequency. The described third-order dual mode analog channel selection filter is composed of the current-mode integrator, and used SFG(Signal Flow Graph) method. The simulated results show 0.51, 2.40MHz cutoff frequency which is suitable for the Bluetooth and WCDMA baseband block each.

Key Words : Current-Mode, Integrator, Baseband Filter, CMOS Analog, Low-Voltage Filter

1. 서 론

무선 통신 시스템 수신기에서 원하는 채널의 신호만을 남기는 채널 선택 필터는 연속시간 영역 필터로 구현하는 방법이 일반적이다. 연속시간 영역의 필터 설계 방법으로는 크게 능동 RC 필터 설계와 Gm-C 필터 설계가 있다. 이 중 능동 RC 필터 설계는 선형성에 있어 우수한 특성을 가지는 설계 방법이지만 칩 제작시 공정의 변화에 매우 민감하여 전체 필터의 특성에 많은 변화를 줄 수 있다. 또한 Gm-C 필터 설계는 비교적 고주파 동작이 용이하고, 트랜스컨덕턴스 값을 조정하여 주파수의 조정이 가능하지만 선형범위에서만 필터를 설계해야 하는 단점이 있다[1-3].

이러한 필터 설계 방법을 이용하여 무선 통신 시스템의 기저대역 채널 선택 필터로 사용하기 위해서는 커패시터 array나 저항 array를 사용하여 차단주파수를 가변하여 채널을 선택하므로 부가적으로 스위칭할 수 있는 회로가 필요하고 칩 면적이 상대적으로 증가되어진다[4].

따라서 본 논문에서는 커패시터 array나 저항 array를 사용하지 않고, 가능한 칩 면적을 최소화할 수 있도록 전류모드 적분기를 이용하여 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적용할 수 있는 듀얼모드 기저대역 채널 선택 필터를 설계하였다. 전류모드 방식의 아날로그 기저대역 채널 선택 필터는 단지 전압만을 제어함으로써 수신단 대역을 선택할 수

있도록 하였고, 차단주파수에 영향을 미치는 커패시터 값을 고정하여 사용하기 때문에 칩 제작 면적의 증가를 억제하여 부피를 최소화시킬 수 있는 특징이 있다[5-7].

2장에서는 저전압 구조를 갖추면서 넓은 대역폭의 주파수 특성을 가지는 CMOS 인버터형 전류모드 적분기를 설계하였고, 3장에서는 전류모드 적분기를 이용하여 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 활용할 수 있는 기저대역 채널 선택 필터를 설계하였다. 설계된 필터는 1.8V Hynix 0.18 μ m standard CMOS 공정을 이용하여 그 특성을 검증하였다.

2. 저전압 필터 설계를 위한 전류모드 적분기 설계

적분기의 구조는 입력 및 출력 신호 종류에 따라 전압모드, 전류모드 또는 혼성모드 적분기로 구분할 수 있다. 적분기는 입력 및 출력 신호에 따라 적분기를 어떻게 연결시키느냐에 따라 즉, 전압과 전류 등의 입출력 신호에 의해서 종류 및 특성이 결정되어진다. 따라서 전압모드, 전류모드 그리고 혼성모드 등의 적분기 설계방식 중 어떤 방식의 적분기를 이용할 것인가 하는 것은 원하는 시스템의 특성에 따라 선택되어질 수 있다.

무선 통신 시스템에 활용하기 위해서는 무엇보다도 저전압 및 저전력 소비 등에서 우수한 특성을 가지고 있어야 한다. 특히 통신 시스템 기저대역 통신용 필터 설계에 사용되는 전류모드 적분기를 구성함에 있어서 회로의 크기를 최소화하고 적은 수의 트랜지스터를 사용하여 간단한 형태의 전류모드 적분기가 설계되어지고 있다[8].

2.1 CMOS 인버터형 전류모드 적분기 설계

그림 1에 본 논문에서 설계한 CMOS 인버터형 전류모드 적분기를 나타내었다. PMOS와 NMOS로 구성된 CMOS 인

* 正 會 員 : 全 北 大 學 校 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

** 正 會 員 : 全 北 大 學 校 電 子 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博

[†] 교신저자, 正 會 員 : 全 北 大 學 校 應 用 系 統 工 學 部 副 教 授 · 工 博

E-mail: jhbang@chonbuk.ac.kr

接受日字 : 2008年 8月 2日

最終完了 : 2008年 8月 11日

버터형 전류 차동 입력과 적분상수를 얻어내기 위한 커패시터를 연결하였고, 차동 입력은 상호 피드백 회로를 구성하며, 마지막으로 출력전류를 발생한다. CMOS형 구조에 NMOS가 캐스코드된 형태를 이루고 있는데, 이는 CMOS를 구성하는 PMOS와 NMOS가 포화영역에서 동작하지만, 저전압에서 동작시키기 위해 전압 Vdd와 접지 사이에 거의 2Vdsat 전압만이 필요로 하기 때문에 캐스코드된 NMOS 트랜지스터는 선형영역에서 동작시켰다.

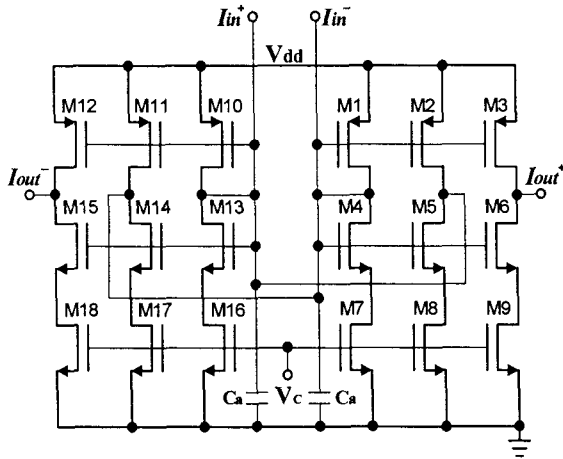


그림 1 설계된 CMOS 인버터형 전류모드 적분기
Fig. 1 The designed CMOS inverter type current-mode integrator

2.2 CMOS 인버터형 전류모드 적분기 특성

Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적용하기 위한 기저대역 채널 선택 필터의 차단주파수는 각각 최소 0.5MHz와 2.1MHz 이상이 요구되어지기 때문에 필터를 구성하는 적분기의 주파수 특성은 필터의 차단주파수에 비하여 훨씬 높은 주파수 대역을 가져야 할 뿐만 아니라 외부 환경에 의한 주파수의 변화에 대응하기 위하여 필요에 따라 주파수 변환도 쉽게 이루어져야 한다.

그림 1의 설계된 전류모드 적분기는 CMOS 인버터형 회로에 캐스코드된 NMOS의 게이트 단자 제어 전압에 의해 전류를 조정하고 적분기의 트랜스컨덕터 값을 제어함으로써 필터의 차단주파수 특성을 필요한 만큼 변화할 수 있는 구조로 설계하였다. 이러한 구조로 인하여 집적회로 공정시에 나타나는 여러 가지 잡음 등으로 변화될 수 있는 필터의 차단주파수 특성을 보정할 수 있다.

또한 본 논문에서 설계하는 채널 선택 필터는 CMOS 인버터형 전류모드 적분기만을 이용하여 설계하였고, 공정 이후 특성 검증을 쉽게 할 수 있도록 하였다. 설계된 CMOS 인버터형 전류모드 적분기에 대한 이득 및 주파수 특성을 확인하기 위하여 1.8V Hynix 0.18 μ m standard CMOS 공정 파라미터를 이용하여 Hspice 프로그램으로 시뮬레이션하여 그림 2에 나타내었다.

그림 2는 전류모드 적분기의 제어 전압(Vc)이 각각 0.45V, 0.55V, 0.65V일 때의 이득 및 주파수 특성을 나타내고 있다. 적분기의 제어 전압에 따른 이득 및 단위이득 주파수 특성을 표 1에 정리하여 나타내었다.

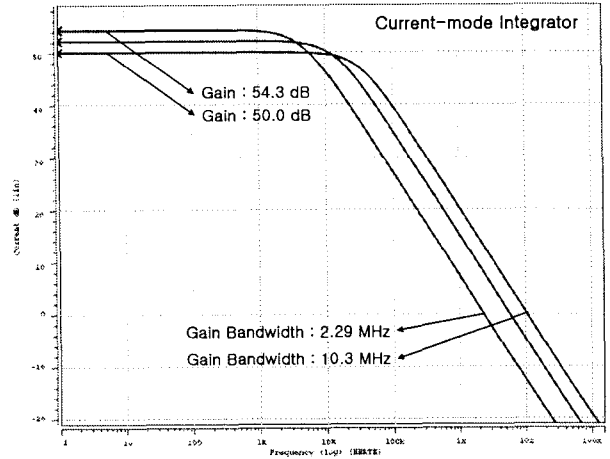


그림 2 설계된 CMOS 인버터형 전류모드 적분기 이득 및 주파수 특성
Fig. 2 The gain and frequency response of the designed CMOS inverter type current-mode integrator

표 1에서 보는 바와 같이 1.8V 공급 전압에서 제어 전압을 0.45V~0.65V까지 0.1V 간격으로 조정하게 되면 적분기 이득은 50.0~54.3dB, 단위이득 주파수는 2.29~10.3MHz가 되어 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식의 기저대역 채널 선택 필터 설계시 필요로 하는 차단주파수에 비하여 약 4배 정도의 단위이득 주파수 여유를 갖게 됨을 알 수 있다.

표 1 제어 전압에 따른 전류모드 적분기 이득 및 단위 이득 주파수 특성

Table 1 The gain and frequency responses according to the control Vc

Vc[V]	Gain[dB]	GBW[MHz]	Mode
0.45	54.3	2.29	Bluetooth
0.55	52.2	5.67	
0.65	50.0	10.3	WCDMA

결과적으로 설계된 CMOS 인버터형 전류모드 적분기를 채널 선택 필터 설계에 활용할 경우, Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적합한 기저대역 채널 선택 필터의 차단주파수를 중심으로 충분한 여유를 갖는 차단주파수의 변환 여유를 가질 수 있어 차단주파수의 변동에 대하여 대응할 수 있는 폭이 넓어지게 된다.

3. 듀얼 모드 기저대역 채널 선택 필터 설계

설계된 CMOS 인버터형 전류모드 적분기를 이용하여 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적용할 수 있는 기저대역 전류모드 저역통과 채널 선택 필터를 설계하였다. 본 논문에서는 회로의 루프 이득이 유지되는 한 필터의 전달함수가 크게 변하지 않을 뿐만 아니라 필터를 구성하는 다수의 적분기를 모두 같은 구조의 적분기로서 구성할 수 있고, 필터의 특성을 조정하기가 용이한 SFG(Signal Flow Graph)

변환법을 이용하여 필터를 설계하였다.

전류모드 방식을 이용하여 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 활용할 기저대역 채널 선택 필터의 설계명세조건을 표 2에 나타내었다. 필터의 설계사양은 기저대역 채널 선택 필터에 부합되도록 차단주파수에 비하여 낮은 소비전력을 갖도록 설정되었다. 또한 필터 함수는 3차 체비셰프 함수를 이용하였으며, 필터구조는 수동 제자형 복중단 회로망을 이용하여 SFG로 구현하였다.

표 2 듀얼 모드 기저대역 채널 선택 필터 설계사양
Table 2 The specification of dual-mode baseband channel selection filter

구분	설계명세 조건
필터함수	3차 체비셰프 함수
수동회로	수동 복중단 제자형
통과대역 손실	1 dB
저지대역 감쇠	30dB 이상
차단주파수	0.5MHz~2.5MHz
공급전압	1.8V
소비전력	1mW 이하

그림 3에 3차 전류모드 저역통과 필터를 나타내었고, 수동 필터를 전류모드 능동 필터로 변환하기 위한 신호흐름 선도를 그림 4에 나타내었다. 전류모드 저역통과 필터의 각 단자에 흐르는 전류들을 키르히호프의 전류 법칙을 이용하여 식(1)~식(3)에 나타내었다.

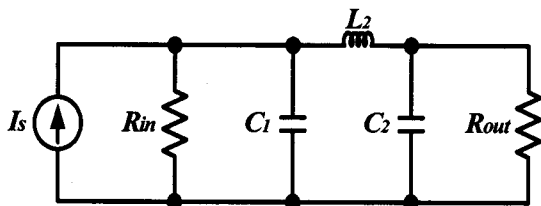


그림 3 3차 전류모드 저역통과 필터
Fig. 3 The 3rd-order current-mode lowpass filter

$$I_1 = \frac{1}{SC_1}(I_S - I_1 - I_2) \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{1}{SL_2}(I_1 - I_3) \quad (2)$$

$$I_3 = \frac{1}{SC_3}(I_2 - I_3) \quad (3)$$

그림 4의 신호흐름 선도에 적분항으로 표시된 블록이 전류모드 적분기에 의하여 모의되고, 각 단자에 연결되어 있는 덧셈기는 전류모드 적분기의 입력단에서 합으로 모의된다. 신호흐름 선도에 의한 변환과정을 거쳐 최종 완성된 3차 전류모드 채널 선택 필터를 그림 5에 나타내었다.

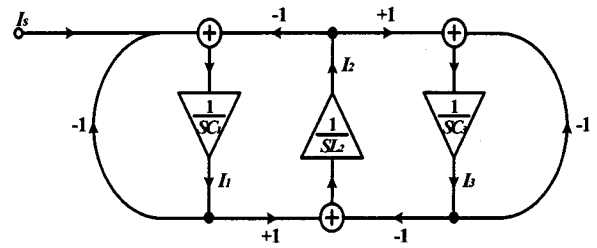


그림 4 3차 전류모드 저역통과 필터의 신호흐름 선도
Fig. 4 The signal flow graph of the 3rd-order current-mode lowpass filter

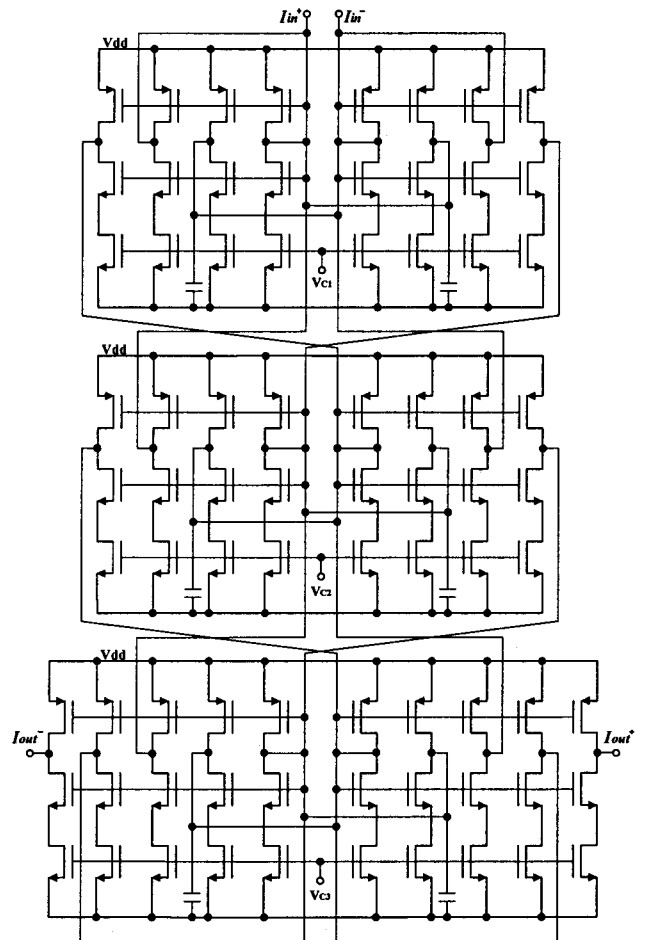


그림 5 3차 전류모드 채널 선택 필터
Fig. 5 The 3rd-order current-mode channel selection filter

그림 5에서 보는 바와 같이 3차 전류모드 채널 선택 필터는 2장에서 설계된 전류모드 적분기 3개를 연결함으로써 전류모드 필터의 설계가 완료된다. 아울러 설계된 3차 전류모드 채널 선택 필터를 구성하는 3개의 적분기의 제어 전압들은 모두 하나의 단자에 연결되고, 이 연결된 단자에 전압 제어를 통하여 Bluetooth 및 WCDMA 기저대역 저역통과 필터의 차단주파수를 필요한 범위 내에서 원하는 값으로 변환할 수 있다.

4. 필터 특성 및 고찰

설계된 3차 전류모드 채널 선택 필터를 1.8V Hynix 0.18 μm standard CMOS 공정을 이용하여 제작하였다. 그림 6에 설계한 필터의 주파수 응답 특성을 나타내었고, 그림 7은 설계한 필터의 layout으로 면적은 약 $240\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 이다. 필터의 특성을 표 3에 정리하여 나타내었다.

표 3의 결과에서 볼 때, 설계된 3차 전류모드 채널 선택 필터 특성이 설계사양에 적합한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적용하기 위한 필터의 차단주파수는 0.51MHz와 2.4MHz로 조사되었고, 저지대역의 감쇠율은 30dB 이상으로 설계명세 조건을 모두 만족하고 있다.

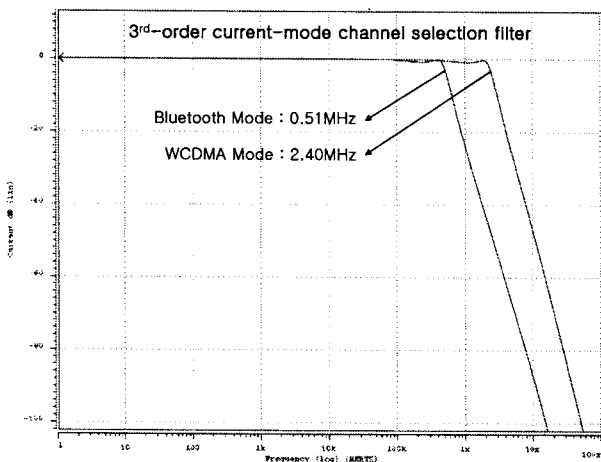


그림 6 3차 전류모드 채널 선택 필터 주파수 특성
Fig. 6 The frequency response of the 3rd-order current-mode channel selection filter

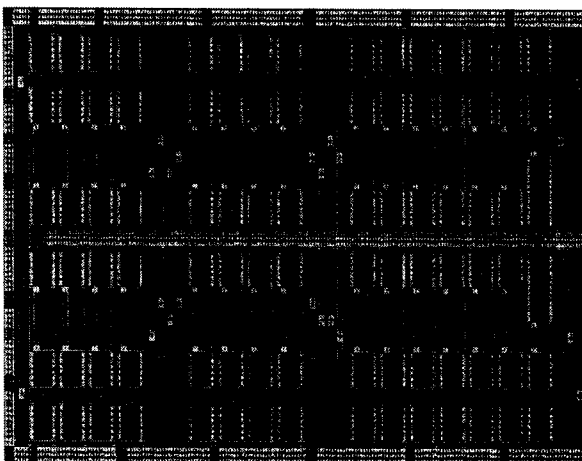


그림 7 전류모드 채널 선택 필터 Layout
Fig. 7 Layout of the current-mode channel selection filter

또한 소비전력에 있어서도 1mW이하로 설정한 설계사양에 비하여 훨씬 적은 최대 0.50mW의 소비전력을 갖는 것으로 조사되었다. 이러한 이유는 필터를 구성하는 적분기의 크기가 작고 또한 적분기를 구성하는 트랜지스터의 크기를 최소화하여 구성한 결과이다.

표 3 3차 전류모드 채널 선택 필터 특성

Table 3 The performance of the 3rd-order current-mode channel selection filter

구분	필터 특성
통과대역 리플	1dB
저지대역 감쇠	30dB 이상
차단주파수	Bluetooth Mode : 0.51 MHz WCDMA Mode : 2.40 MHz
공급전압	1.8V
제어전압	Bluetooth Mode : 0.45V WCDMA Mode : 0.65V
소비전력	0.50mW

또한 적분기에 흐르는 전류를 줄이고 제어전압을 연결하여 필요한 전압이 인가될 때만 동작되게 함으로써 전체 필터의 소비전력을 크게 줄일 수 있게 되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적용할 수 있는 기저대역 채널 선택 필터를 설계하기 위하여 먼저 그 내부 회로인 전류모드 적분기를 저전압, 저전력 특성 및 주파수 변환특성을 갖는 전류모드 구조로 설계하였고, 이를 1.8V Hynix 0.18 μm standard CMOS 공정 파라미터를 이용하여 그 특성을 검증하였다. 전류모드 적분기에 대한 시뮬레이션 결과, Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식 제어 전압의 가변에 따라 이득은 50.0~54.3dB, 단위이득 주파수는 2.29~10.3MHz 정도의 특성을 얻을 수 있었다. 이와 같은 적분기의 주파수 특성은 설계된 적분기의 사용범위를 기저대역용 통신 시스템에 사용할 수 있는 가능성을 제공한다. 전류모드 적분기를 활용하여 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 적합한 3차의 전류모드 채널 선택 필터를 설계하였다. 필터 설계시 제어 전압에 의한 적분기의 주파수 변환 특성을 최대한 활용하기 위하여 SFG 변환법을 활용하였으며, 각각의 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식별로 각각 0.51 MHz, 2.40MHz의 차단주파수 특성을 얻을 수 있었다. 특히 크기를 최소화하여 설계한 적분기 3개로 구성된 전류모드 채널 선택 필터의 소비전력이 최대 0.50mW로써 우수한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

결론적으로 본 논문에서 제안한 전류모드 적분기는 저전압, 저전력 특성과 차단주파수 특성을 만족시키며, Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식에 전류모드 채널 선택 필터로 적용될 수 있음을 확인하였다. 아울러 Bluetooth 및 WCDMA 통신 방식 뿐만 아니라 기타 저전압 및 저전력 통신시스템용 아날로그 필터 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] J. H. Hwang, M. Y. Lee, C. Y. Jeong and C. Yoo, "Active-RC channel selection filter tunable from 6kHz to 18MHz for software defined radio,"

Proceedings of the IEEE International Symposium Circuits and Systems, pp. 4803-4806, Aug. 2005.

[2] Y. S. Hwang, J. J. Chen, J. H. Lai and P. W. Shew, "Fully differential current-mode third-order Butterworth VHF Gm-C filter in 0.18 μ m CMOS," IEE Proc.-Circuits Syst., Vol. 153, NO. 6, pp. 552-558, Dec. 2006.

[3] J. H. Hwang, M. Y. Lee, C. Y. Jeong and C. Yoo, "Active-RC channel selection filter tunable from 6kHz to 18MHz for software defined radio," Proceedings of the IEEE International Symposium Circuits and Systems, pp. 4803-4806, Aug. 2005.

[4] T. Hollman, S. Lindfors, M. Lansirinne, J. Jussila and K. A. I. Halonen, "A 2.7V CMOS dual-mode baseband filter for PDC and WCDMA," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 36, pp. 1148-1153, July 2001.

[5] Z. Yang, T. Hinck, H. I. Cohen and A. E. Hubbard, "Current-mode integrator for voltage-controlled low frequency continuous-time filters," Electronics Letters 12th, Vol. 39, No. 12, pp. 883-884, Jun. 2003.

[6] Y. S. Hwang, J. H. Lai and M. C. Chang, "Realization of transistor-Only High-Order current-mode Filters," IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science, Vol. E88-A, No. 2, pp. 538-540, Feb. 2005.

[7] N. A. Shah and S. Z. Iqbal, "Current-mode active-only universal filter," International Journal of Electronics, Vol. 90, No. 6, pp. 407-411, Jun. 2003.

[8] A. Mazurek and K. Wawryn, "Programmable Current Mode Circuits," ICECS 2001, Vol. 2, pp. 553-556, Sep. 2001.

저 자 소 개



김 병 옥 (金炳旭)
 1972년 11월 15일생. 1995년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 9월~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel : 063-270-3957
 Fax : 063-270-2394
 E-mail : bwkim@chonbuk.ac.kr



방 준 호 (方駿鎬)
 1966년 9월 28일생. 1989년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1998년~현재 전북대학교 응용시스템공학부 부교수
 Tel : 063-850-0761
 Fax : 063-850-0761
 E-mail : jhbang@chonbuk.ac.kr



조 성 익 (趙成翊)
 1962년 2월 10일생. 1987년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2004년~현재 전북대학교 전자정보공학부 조교수
 Tel : 063-270-4137
 Fax : 063-270-2394
 E-mail : sicho@chonbuk.ac.kr



최 석 우 (崔碩佑)
 1962년 3월 14일생. 1988년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년~2001년 The Ohio State University. Post-Doc. 1996년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수
 Tel : 063-270-3698
 Fax : 063-270-2394
 E-mail : swchoi@chonbuk.ac.kr



김 동 용 (金東龍)
 1945년 7월 31일생. 1967년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 캐나다 마니토바대학교 졸업(공학). 1975년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수
 Tel : 063-270-2395
 Fax : 063-270-2394
 E-mail : kimdy@chonbuk.ac.kr